昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, October 2012, 55(10): 1178 – 1184 ISSN 0454-6296

南美斑潜蝇为害对黄瓜体内主要营养物质、次生代谢物质及叶绿素含量的影响

孙兴华, 周晓榕, 庞保平*, 孟庆玖
(内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard)是一种危害多种蔬菜和观赏植物的多食性害虫。本研究采用蒽酮比色法、考马斯亮蓝法、磷钼酸-磷钨酸比色法、索氏回流法及丙酮法, 分别测定了南美斑潜蝇 1 ~ 3 龄幼虫不同为害程度(系统受害、轻度受害和重度受害)对黄瓜叶片内可溶性糖、可溶性蛋白质、单宁、黄酮及叶绿素含量的影响。结果表明: 南美斑潜蝇幼虫为害后, 黄瓜叶片中可溶性糖、可溶性蛋白质和叶绿素的含量随着为害程度的增强而显著降低($P < 0.01$), 最大降幅分别为 62%, 35% 和 40%; 单宁和黄酮的含量随着为害程度的增强而显著上升($P < 0.01$), 最高升幅分别为 26% 和 53%; 并且具有系统性影响。结果提示, 南美斑潜蝇幼虫为害导致寄主植物营养物质含量下降、光合作用降低, 而次生代谢物质含量上升, 从而对植食者产生诱导抗性。本研究结果为进一步揭示南美斑潜蝇与其寄主植物相互作用关系及其机理提供了有益的参考。

关键词: 南美斑潜蝇; 黄瓜; 植物与昆虫相互作用; 可溶性糖; 可溶性蛋白质; 单宁; 黄酮; 叶绿素
中图分类号: Q965 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2012)10-1178-07

Effects of infestation of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) on the contents of main nutrients, secondary metabolites and chlorophyll in cucumber leaves

SUN Xing-Hua, ZHOU Xiao-Rong, PANG Bao-Ping*, MENG Qing-Jiu (College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: The pea leafminer, *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard), is a polyphagous insect pest on vegetables and ornamental plants. In order to investigate the interaction between this pest and its host plants, we assayed the contents of soluble sugars, soluble proteins, tannins, flavones and chlorophyll in cucumber leaves infested by the 1st to 3rd larvae of *L. huidobrensis* with different damage levels using anthrone colorimetric method, Coomassie brilliant blue staining, phosphor-molybdenum acid-phosphor-tungstenic acid colorimetry, Soxhlet extraction and acetone spectrophotometry, respectively. The results showed that the contents of soluble sugars, soluble proteins and chlorophyll in cucumber leaves decreased while those of tannins and flavones increased with the increase of damage by the larvae. The largest decrease amplitudes of the former three were 62%, 35% and 40%, respectively, and the highest increase amplitudes of the latter two were 26% and 53%, respectively. The influences of the larval infestation on the above compounds were systemic. The results suggest that the larval damage caused the decrease of nutrient contents and phytosynthesis of host plants while the increase of secondary metabolite contents, and therefore induced the resistance to herbivores. This study may provide a useful reference to further research on the interactive mechanisms between the leafminer and its host plants.

Key words: *Liriomyza huidobrensis*; cucumber; plant-insect interaction; soluble sugar; soluble protein; tannin; flavone; chlorophyll

南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard)是一种危害多种蔬菜和观赏植物的检疫性害虫(Scheffer, 2000)。该虫于 1926 年在巴西首次作为一种农业害虫被报道, 随后传到南美和中美的一些地区, 还包括加利福尼亚洲和夏威夷岛等地区(Martin, 2003)。1993 年, 我国首次在云南省发现

基金项目: 国家自然科学基金项目(30960219)
作者简介: 孙兴华, 男, 1987 年 2 月生, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 研究方向为植物与昆虫的相互作用, E-mail: sunxinghua159@163.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: pangbp@imau.edu.cn
收稿日期 Received: 2012-06-01; 接受日期 Accepted: 2012-09-27

该虫(蒋小龙等, 1997)，由于其寄主植物广泛，蔓延非常迅速，而且比美洲斑潜蝇 *L. sativae* (Blanchard)更能耐受低温(陈兵和康乐, 2003)，南美斑潜蝇在我国南北方各地区已经迅速取代了美洲斑潜蝇成为优势种(陈兵和康乐, 2002；周永丰和唐峻岭, 2003)。南美斑潜蝇的传入给我国的蔬菜和花卉等生产造成了极大的经济损失，严重影响到了我国蔬菜和花卉产业的正常发展。

植物在受到病虫害等逆境胁迫时，其体内的相关生理物质如氮、糖、蛋白质、叶绿素含量等都会发生明显的变化(McClure, 1980；Kogan and Paxton, 1983；West, 1985；Bryant *et al.*, 1993)。植物为了抵御植食性昆虫等的入侵及危害，在长期的进化过程中已形成复杂的化学防御体系，营养物质和次生代谢物质即是其中两个重要的屏障。植物中某些营养物质和次生代谢物质的变化对害虫的生长发育及生理代谢有着重要的影响(Masttsten and Sciber, 1987)。加拿大铁杉 *Tsuga canadensis* 当年叶片中含氮量的高低与前一年铁杉单蜕盾蚁 *Fiorinia externa* 的密度呈显著负相关关系(McClure, 1980)。黄炜东(2006)研究证实氮和糖是昆虫消化、活动所需的能量来源，并影响昆虫的生长发育和繁殖。黄酮类化合物广泛地存在于各种植物中，从苔藓植物到被子植物均含有该类化合物，是对昆虫有毒的一类次生代谢物质，影响昆虫的取食行为和正常代谢过程，从而使昆虫中毒甚至死亡(Adam, 1999；武予清和郭予元, 2001)。从鼠鞠草分离出的多种黄酮类化合物对棉贪夜蛾 *Spodoptera litura* 具有拒食活性(Morimoto *et al.*, 2000, 2003)。单宁是大多数植物中含量较高的一类次生代谢物质，它不但具有涩味而且难被消化酶分解，因而成为植物对抗动物取食的最重要的生化屏障之一。单宁通过干扰昆虫肠道消化和抑制肠道内各种酶的活性，从而起到阻碍它们的生长发育及繁殖的作用(成卫宁等, 2004)。植食性昆虫的取食严重影响了植物的光合作用(李典谟和周立阳, 1997)，而叶绿素正是进行光合作用核心反应的细胞器，光合作用的能量转换和碳同化过程都要在其中完成(沈允钢等, 1998)，因而其含量的高低是影响植物生长发育的直接因素(戚继忠等, 1995)。

黄瓜是南美斑潜蝇最嗜食的寄主植物之一(苟三启, 2002)，而且南美斑潜蝇对不同黄瓜品种的选择性也不同(韩靖玲等, 2005)。黄酮和单宁等次生化合物是影响斑潜蝇寄主选择性的主要因素(庞保平等, 2006)，而糖、蛋白质和叶绿素与斑潜蝇寄主选择性的关系，还未取得一致的结果(高俊平等, 2007)。本文研究了南美斑潜蝇幼虫为害对黄瓜叶片中可溶性糖、可溶性蛋白质、单宁、黄酮及叶绿素含量的影响，以期为进一步揭示植物与昆虫相互作用关系及其机理提供必要的基础。

1　材料与方法

1.1　供试植物

选用我国北方地区普遍种植的黄瓜品种津春 4 号。精选无病饱满的种子，浸种催芽后直播于花盆中，每盆播 3 ~ 4 粒种子。待植株长到一片真叶时，每盆选留 2 株置于温室中，待长到 7 ~ 8 片真叶时，去掉顶端以防其徒长，备用。

1.2　供试虫源

从呼和浩特东郊金河镇根堡村无公害蔬菜基地黄瓜和菜豆上采集南美斑潜蝇的成虫和蛹，成虫饲养于有盆栽菜豆的养虫笼内，将蛹群集饲养于装有含相对含水量 70% 的蛭石和细沙土混合的烧杯中，分别置于人工智能光照培养箱中(温度 25℃，相对湿度 70% ~ 80%，光周期 16L∶8D)。在盆栽菜豆上繁殖 1 代后，将 2 代蛹挑出，单头饲养于试管中，管口用湿棉球塞住，以防成虫羽化后逃逸并每天进行保湿。将试管置于上述条件的人工智能光照培养箱中，培养至羽化，备用。

1.3　不同受害程度黄瓜叶片的获得

以 3 盆健康苗为 1 组放入养虫笼(40 cm × 40 cm × 50 cm)内，然后将养虫笼放于上述条件的人工智能光照培养箱中。在重度受害处理的植株上分别选取从上数和从下数第 2 片叶共 2 片叶作为系统受害对照，即把叶片用针扎过小孔的保鲜袋套住，防止斑潜蝇产卵为害。健康对照、轻度受害和重度受害处理每笼分别接入 0，20 和 30 对同一天羽化的南美斑潜蝇成虫，7 d 后将黄瓜苗取出，以获取受害程度不同的黄瓜受害苗。每一处理重复 3 次(笼)。

1.4　南美斑潜蝇危害程度的划分

南美斑潜蝇危害程度(%) = 单位叶片上的虫道面积(cm^2)/植物的叶面积(cm^2) × 100，南美斑潜蝇危害程度分级参照尹新明等(1999)和贤振华等(2000)的方法，并做适当修改。健康对照：未接虫健康苗；系统对照：邻近重度受害叶片的未受害叶片；轻度受害：潜食叶面积小于叶面积的 10%；重度受害：潜食叶面积大于叶面积的 40%。

1.5 测定方法

每个处理选取同一株相同受害程度的黄瓜叶片3~5片，冲洗表面杂质晾干，分别剪碎混匀，然后按照各个测定指标所需的量进行称取。分别采用考马斯亮蓝 G-250 法(陈毓荃，2002)、蒽酮比色法(陈毓荃，2002)、磷钼酸-磷钨酸比色法(F-D 法)(张治安等，2004)、索氏回流法(汤章城，1999)和丙酮法(张志良和瞿伟菁，2003)测定黄瓜叶片可溶性蛋白质、可溶性糖、单宁、黄酮和叶绿素的含量。每处理重复3次(株)。

1.6 数据统计与分析

本实验所有数据均采用 DPS 数据处理系统进行统计分析，不同处理间差异显著性采用 Duncan 氏多重比较(唐启义，2010)。

2 结果与分析

2.1 南美斑潜蝇幼虫为害对黄瓜叶片中可溶性糖含量的影响

由图1可知，健康对照与系统对照、轻度受害及重度受害叶片中可溶性糖含量均存在极显著差异($F_{3,8}=107.07$，$P<0.01$)，而系统对照、轻度受害及重度受害间差异不显著($P>0.05$)。南美斑潜蝇幼虫为害后，各处理黄瓜叶片中可溶性糖含量均明显下降，且下降幅度较大，降低了60%以上($P<0.01$)。系统对照叶片中可溶性糖的含量明显低于健康对照($P<0.01$)，表明南美斑潜蝇幼虫为害对可溶性糖含量具有系统性的影响。

2.2 南美斑潜蝇幼虫为害对黄瓜叶片中可溶性蛋白质含量的影响

由图2可知，健康对照、系统对照、轻度受害及重度受害叶片中可溶性蛋白质含量总体上存在极显著差异($F_{3,8}=5.60$，$P<0.01$)。重度受害叶片中可溶性蛋白质含量极显著地低于健康对照、系统对照和轻度受害($P<0.01$)，与健康对照相比，降低了35.85%；系统对照、轻度受害与健康对照差异不显著($P>0.05$)。

2.3 南美斑潜蝇幼虫为害对黄瓜叶片中单宁含量的影响

由图3可知，健康对照、系统对照、轻度受害及重度受害叶片中单宁含量存在极显著差异($F_{3,8}=28.54$，$P<0.01$)，系统对照、轻度受害及重度受害叶片中单宁含量显著高于健康对照($P<0.05$)，而轻度受害与重度受害间差异不显著($P=0.1692>0.05$)。系统对照的单宁含量上升幅度最大，上升了26.37%($P<0.01$)，表明南美斑潜蝇幼虫为害对单宁含量的影响是系统性的。

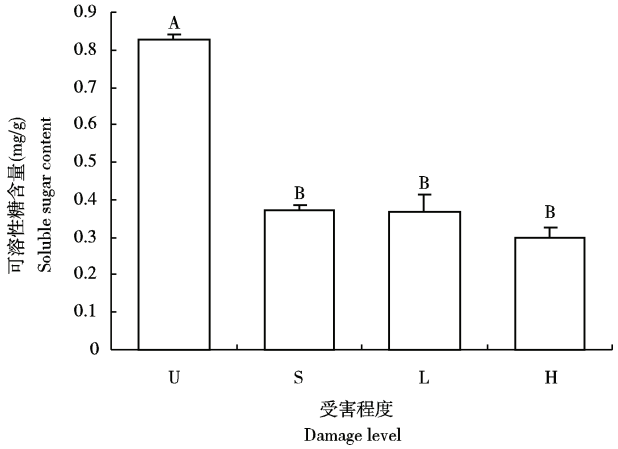

图1 黄瓜受南美斑潜蝇幼虫不同程度为害后叶片中可溶性糖含量的变化

Fig. 1 Changes of soluble sugar content in cucumber leaves damaged by *Liriomyza huidobrensis* larvae

U：健康对照 Undamaged control；S：系统对照 Systemic control；L：轻度受害 Lightly damaged；H：重度受害 Heavily damaged. 图中数据为平均值±标准误，柱上不同大写字母表示不同处理间差异极显著(Duncan 氏多重比较，$P<0.01$)。Data in the figure are mean ± *SE*, and different capital letters above bars indicate extremely significant difference (Duncan's multiple range comparison, $P<0.01$). 下图同 The same for the following figures.

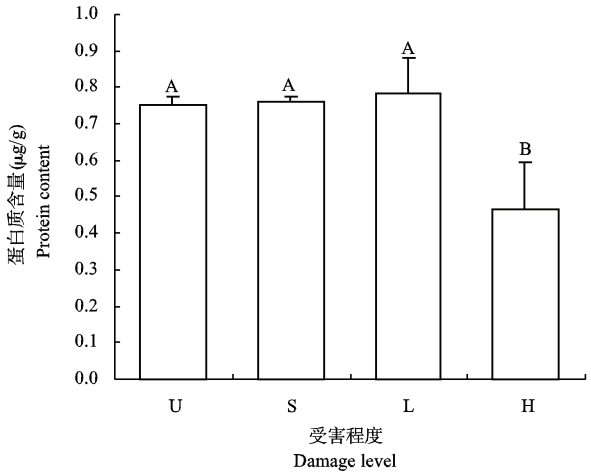

图2 黄瓜受南美斑潜蝇幼虫不同程度为害后叶片中可溶性蛋白质含量的变化

Fig. 2 Changes of soluble protein content in cucumber leaves damaged by *Liriomyza huidobrensis* larvae

2.4 南美斑潜蝇幼虫为害对黄瓜叶片中黄酮含量的影响

由图4可知，健康对照、系统对照、轻度受害

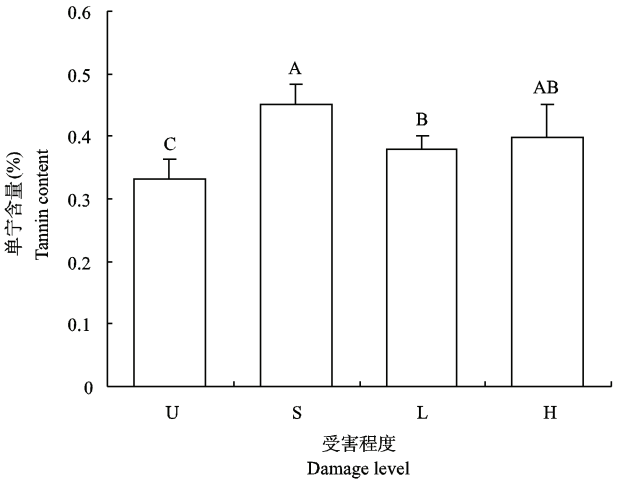

图 3　黄瓜受南美斑潜蝇幼虫不同程度为害后叶片中单宁含量的变化

Fig. 3　Changes of tannin content in cucumber leaves damaged by *Liriomyza huidobrensis* larvae

及重度受害叶片中黄酮含量均存在极显著差异($F_{3,8}=291.84$，$P<0.01$)。与健康对照相比，系统对照上升幅度最大，为 53.05%；其次为重度受害，为 45.11%；轻度受害最小，为 32.79%。系统对照的黄酮含量较健康对照差异极显著($P<0.01$)，表明南美斑潜蝇幼虫为害对黄酮含量的影响也是系统性的。

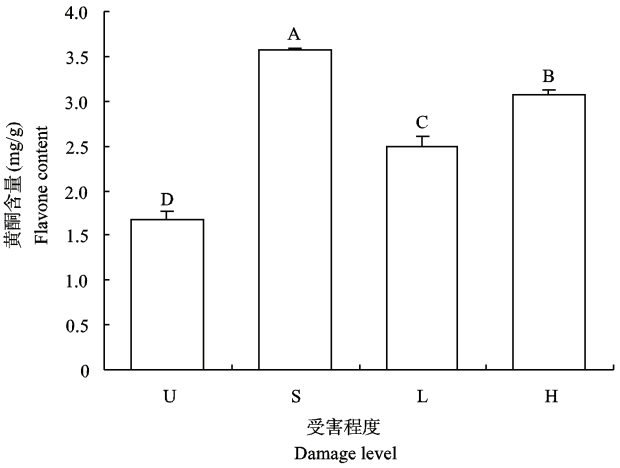

图 4　黄瓜受南美斑潜蝇幼虫不同程度为害后叶片组织中黄酮含量的变化

Fig. 4　Changes of flavone content in cucumber leaves damaged by *Liriomyza huidobrensis* larvae

2.5　南美斑潜蝇幼虫为害对黄瓜叶片中叶绿素含量的影响

由图 5 可知，健康对照、系统对照、轻度受害及重度受害叶片中叶绿素含量均存在极显著差异($F_{3,8}=106.64$，$P<0.01$)。南美斑潜蝇幼虫为害后，随着受害程度的增加，黄瓜叶片中叶绿素含量的变化呈现下降的趋势，且重度受害较健康对照下降幅度最大($P<0.01$)，降低了 40.35%。系统对照与健康对照之间差异极显著($P<0.01$)，表明南美斑潜蝇幼虫为害对叶片叶绿素含量具有系统性影响。

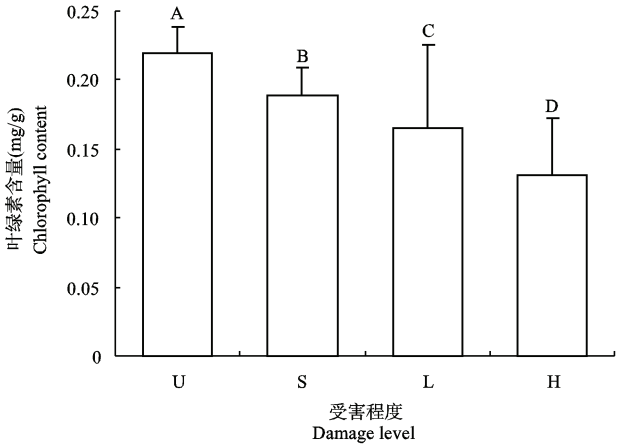

图 5　黄瓜受南美斑潜蝇幼虫不同程度为害后叶片中叶绿素含量的变化

Fig. 5　Changes of chlorophyll content in cucumber leaves damaged by *Liriomyza huidobrensis* larvae

3　讨论

3.1　植食性昆虫为害对寄主植物体内主要营养物质的影响

食物是昆虫生命活动中所需营养的主要来源，而食物营养质量将直接影响到昆虫的生长代谢过程(章康华等，2002)。在早期的植物化学防御机制研究中，常常忽略营养物质的作用，实际上，可供昆虫生长发育的营养物质含量的高低是昆虫能否正常生长及繁殖的重要指标之一。事实上，植物可通过自身营养物质合成量的降低作为防御病虫害入侵的一种对策。植物的营养物质如糖类中可溶性糖所占的比例较高，含氮物质中可溶性蛋白质所占的比例高，都有利于幼虫和成虫的取食，促进了昆虫的生长代谢(康乐，1995)。毛竹叶片受刚竹毒蛾 *Pantana phyllostachysae* 不同程度的危害后，随着虫害程度的加深，叶片中可溶性蛋白质和可溶性糖的含量明显下降(张潮巨，2006)。油松受赤松毛虫 *Dendrolimus spectabilis* 危害后可溶性糖和可溶性蛋白质的含量显著低于对照(李镇宇等，2000)。本研究也获得了相同的结果，当黄瓜受南美斑潜蝇幼虫

为害后，随着受害程度的加深，叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质含量显著下降，特别是可溶性糖下降幅度更大，而且系统对照可溶性糖含量与健康对照相比，下降也十分明显。说明南美斑潜蝇幼虫为害对可溶性糖的影响更为明显。

3.2 植食性昆虫为害对寄主植物体内主要次生代谢物质的影响

寄主植物中某些次生物质含量的变化会对害虫生长发育及代谢产生很大的影响（Masttsten and Sciber，1987）。随着刚竹毒蛾为害程度的增加，毛竹叶片中单宁和黄酮的含量显著上升（张潮巨，2006）。受竹篦舟蛾 *Besaia goddrica* 严重危害后，毛竹叶片中单宁的含量明显增加（张思禄，2008）。马尾松受马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 为害后，马尾松叶中的单宁含量显著升高（任琴，2006）。红腹柄天牛 *Aphrodisium faldermannii rufiventris* 为害甜槠后，黄酮含量明显增多（刘鹏程等，2006）。刘宝川等（2003）从小麦叶片提取液中分离纯化得到两种黄酮类化合物，用含有不同浓度的黄酮类化合物饲养麦长管蚜 *Sitobion avenae*，发现麦长管蚜的生长、发育和繁殖均受到明显的抑制。本文与上述研究结果一致，南美斑潜蝇为害后，黄瓜叶片中单宁和黄酮的含量上升，且随着受害程度的增加，叶片中的黄酮含量增加幅度明显。

3.3 植食性昆虫为害对寄主植物体内叶绿素含量的影响

植食性昆虫的取食能影响植物的光合作用等一系列生理代谢过程（李典谟和周立阳，1997）。植物95%以上的干物质是由光合作用合成的，叶片是光合作用的主要器官，叶片中的叶绿体是光合作用最主要的细胞器。高等植物在光合反应中吸收光能的主要色素为叶绿素，叶绿素能将光能转化为化学能，形成有机物质。叶片中叶绿素含量的高低是反映植物叶片光合能力的一个重要指标。张慧杰等（2006）对美洲斑潜蝇幼虫潜叶为害对几种作物光合作用的影响的研究表明，美洲斑潜蝇的幼虫潜食为害蓖麻和黄瓜叶片中的栅栏组织后，叶片中叶绿素含量较对照减少，并且随着潜食级别的增高，减少量逐渐增大。本文研究表明，当受到南美斑潜蝇幼虫取食为害后，黄瓜叶片组织中的叶绿素含量显著下降，并且还会导致邻近未被为害的叶片中叶绿素的含量明显下降。

本文首次比较了南美斑潜蝇幼虫为害对寄主植物体内主要营养物质、叶绿素和次生代谢物质的影响，结果表明：南美斑潜蝇幼虫为害引起寄主植物叶绿素含量下降，进而导致寄主植物体内可溶性糖和蛋白质等营养物质含量下降；同时，导致单宁和黄酮等有害次生代谢物质含量上升。上述变化是否会影响南美斑潜蝇或其他植食性昆虫的进一步产卵、取食及生长发育，有待于今后进一步研究。

参考文献（References）

Adam KP, 1999. Phenolic constituents of the fern *Phegopteris connectilis*. *Phytochemistry*, 52: 929 – 934.

Bryant JP, Reicherdt PB, Clausen TP, Werner RA, 1993. Effects of mineral nutrition on delayed inducible resistance in Alaska paper birch. *Ecology*, 74(7): 2077 – 2084.

Chen B, Kang L, 2002. Analysis of trends of occurrence and geographic variation of pea leafminer *Liriomyza huidobrensis*. *Plant Quarantine*, 16(3): 138 – 140. [陈兵, 康乐, 2002. 南美斑潜蝇在我国发生趋势和地理差异分析. 植物检疫, 16(3): 138 – 140]

Chen B, Kang L, 2003. Supercooling point shift of pea leafminer pupae with latitude and its implication for the population dispersion. *Zoological Research*, 24(3): 168 – 172. [陈兵, 康乐, 2003. 南美斑潜蝇地理种群蛹过冷却点随纬度递变及其对种群扩散的意义. 动物学研究, 24(3): 168 – 172]

Chen YQ, 2002. The Experimental Method and Technology of Biochemistry. Science Press, Beijing. [陈毓荃, 2002. 生物化学试验方法和技术. 北京: 科学出版社]

Cheng WN, Li CQ, Li XL, Li JJ, Liu SJ, Wu JX, 2004. Studies on biochemical resistance mechanism of hosts to *Liriomyza sativae* Blanchard. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 13(4): 73 – 76. [成卫宁, 李长青, 李修炼, 李建军, 刘世建, 仵均祥, 2004. 美洲斑潜蝇寄主植物生化抗性机制的初步研究. 西北农业学报, 13(4): 73 – 76]

Gao JP, Pang BP, Meng RX, Wang J, 2007. Relationships between host preference of *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) and nutrient and chlorophyll contents in host foliage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(3): 701 – 704. [高俊平, 庞保平, 孟瑞霞, 王娟, 2007. 南美斑潜蝇寄主选择性与植物营养物质及叶绿素含量的关系. 应用生态学报, 18(3): 701 – 704]

Gou SQ, 2002. Infestation selectivity of *Liriomyza huidobrensis* on different crops. *Gansu Agricultural Science and Technology*, (5): 45 – 46. [苟三启, 2002. 南美斑潜蝇对不同作物为害的选择性研究. 甘肃农业科技, (5): 45 – 46]

Han JL, Pang BP, Gao SJ, Gao JP, Wu W, 2005. Host plant selectivity of *Liriomyza huidobrensis* on different varieties of cucumbers. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(6): 660 – 663. [韩靖玲, 庞保平, 高书晶, 高俊平, 武威, 2005. 南美斑潜蝇对不同黄瓜品种的寄主选择性. 昆虫知识, 42(6): 660 – 663]

Huang WD, 2006. Effects of feeding damage by *Latoria bicolor* (Walker) on concentration of major nutrients of *Phyllostachys heterocycla* var. *pubescence*. *Journal of Bamboo Research*, 25(4): 24 – 27. [黄炜东, 2006. 两色绿刺蛾为害对毛竹营养物质的影响. 竹子研究汇刊, 25(4): 24 – 27]

Jiang XL, Ding YM, Wang LW, Liu ZS, Mu YM, Zhang ZY, She YP, Tao T, 1997. Occurrence and control of *Liriomyza huidobrensis* in Yunnan. *Plant Quarantine*, 11(Suppl.): 11 – 22. [蒋小龙, 丁元明, 王龙文, 刘忠善, 沐咏民, 张智英, 佘宇平, 陶滔, 1997. 拉美斑潜蝇在云南的发生与防治. 植物检疫, 11(增刊): 20 – 22]

Kang L, 1995. The chemical defenses of plants to phytophagous insects. *Chinese Bulletin of Botany*, 12(4): 22 – 27. [康乐, 1995. 植物对昆虫的化学防御. 植物学通报, 12(4): 22 – 27]

Kogan M, Paxton J, 1983. Natural inducers of plant resistance to insects. In: Hedin PA ed. Plant Resistance to Insects. American Chemical Society, Washington. 153 – 172.

Li DM, Zhou LY, 1997. Coevolution – Relationship between insect and plant. *Entomological Knowledge*, 34(1): 45 – 49. [李典谟, 周立阳, 1997. 协同进化——昆虫与植物的关系. 昆虫知识, 34(1): 45 – 49]

Li ZY, Wang Y, Chen HS, Xu ZC, Lu YB, 2000. Induced chemical defenses and delayed induced resistance of *Pinus tabulaeformis* Carr. to *Dendrolimus spectabilis* Butler. *Scientia Silvae Sinica*, 36(1): 66 – 70. [李镇宇, 王燕, 陈华盛, 许志春, 路永波, 2000. 油松对赤松毛虫的诱导化学防御及滞后诱导抗性. 林业科学, 36(1): 66 – 70]

Liu BC, Chen JL, Ni HX, Sun JR, Wu YQ, 2003. Effects of secondary flavonoids in wheat on the growth and development of *Sitobion avenae* (Fabricius). *Acta Phytophylacica Sinica*, 30(1): 8 – 12. [刘保川, 陈巨莲, 倪汉祥, 孙京瑞, 武予清, 2003. 小麦中黄酮类化合物对麦长管蚜生长发育的影响. 植物保护学报, 30(1): 8 – 12]

Liu PC, Chen SL, Tong YH, Wang YL, Lin RY, Chen YT, 2006. Effects of damage of *Aphrodisium faldermannii rufiventris* on the contents of flavones and tannin in *Castanopsis eyeri*. *Journal of Fujian Forestry College*, 26(4): 314 – 317. [刘鹏程, 陈顺立, 童应华, 王玉连, 林让育, 陈允泰, 2006. 红腹柄天牛为害对甜槠黄酮、单宁含量的影响. 福建林学院学报, 26(4): 314 – 317]

Martin AD, 2003. The Biology and Behaviour of *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard), the Pea Leafminer, in Southern Ontario. PhD Dissertation, University of Guelph, Guelph.

Masttsten WJ, Sciber JM, 1987. Nutritional ecology of insect folivores of woody plants: nitrogen, water, filter and mineral considerations. In: Slansky FJr, Rodriguez JG eds. Nutritional Ecology of Insects, Mites and Spiders. Wiley Press, New York. 105 – 146.

McClure MS, 1980. Foliar nitrogen: a basis for host suitability for elongate hemlock scale, *Fionnia extema* (Homoptera: Diaspididae). *Ecology*, 61(1): 72 – 79.

Morimoto M, Sumiko KS, Komai K, 2000. Insect antifeedant flavonoids from *Gnaphalium affine* D. Don. *J. Agric. Food Chem.*, 48: 1888 – 1891.

Morimoto M, Tanimoto K, Sachiko NS, Ozaki T, Ayako NA, Koichiro KK, 2003. Insect antifeedant activity of flavones and chromones against *Spodoptera litura*. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 389 – 393.

Pang BP, Gao JP, Zhou XR, Wang J, 2006. Relationship between host plant preference of *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae) and secondary plant compounds and trichomes of host foliage. *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 810 – 815. [庞保平, 高俊平, 周晓榕, 王娟, 2006. 南美斑潜蝇寄主选择性与植物次生化合物及叶毛的关系. 昆虫学报, 49(5): 810 – 815]

Qi JZ, Song JB, Liu XR, Guo XP, Wang HJ, 1995. A grey correlative degree analysis on the relationship between chlorophyll content and meteorological factors. *Journal of Jilin Forestry University*, 11(3): 159 – 162. [戚继忠, 宋嘉葆, 刘喜仁, 郭喜萍, 王洪俊, 1995. 叶绿素含量与气象因子关系的灰关联分析. 吉林林学院学报, 11(3): 159 – 162]

Ren Q, 2006. Study on the Rapid Induced Resistance and Chemical Signals from *Pinus massoniana*. PhD Dissertation, Beijing Forestry University, Beijing. [任琴, 2006. 马尾松快速诱导抗性及化学信号物质的研究. 北京: 北京林业大学博士学位论文]

Scheffer SJ, 2000. Molecular evidence of cryptic species within the *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). *J. Econ. Entomol.*, 93: 1146 – 1147.

Shen YG, Shi JN, Xu DQ, 1998. Dynamic Photosynthesis. Science Press, Beijing. [沈允钢, 施教耐, 许大全, 1998. 动态光合作用. 北京: 科学出版社]

Tang QY, 2010. DPS© Data Processing System: Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. Science Press, Beijing. [唐启义, 2010. DPS©数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京: 科学出版社]

Tang ZC, 1999. The Experimental Guideline of Modern Plant Physiology. Science Press, Beijing. [汤章城, 1999. 现代植物生理学试验指南. 北京: 科学出版社]

West C, 1985. Factors underlying the late seasonal appearance of the lepidopterous leaf-mining guild on oak. *Ecol. Entomol.*, 10: 111 – 120.

Wu YQ, Guo YY, 2001. Potential resistance of tannins-flavoniods in upland cotton against *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Ecologica Sinica*, 21(2): 286 – 289. [武予清, 郭予元, 2001. 棉花单宁-黄酮类化合物对棉铃虫的抗性潜力. 生态学报, 21(2): 286 – 289]

Xian ZH, Deng GR, Li WQ, Zeng DQ, Huang DX, 2000. Studies on the occurrence on cowpea and the control with insecticides of *Liromyza sativae* Blanchard. *Genomics and Applied Biology*, 19(3): 168 – 174. [贤振华, 邓国荣, 李伟群, 曾东强, 黄大兴, 2000. 美洲斑潜蝇在豇豆上发生为害规律及药剂防治技术研究. 广西农业生物科学, 19(3): 168 – 174]

Yin XM, Yuan GH, Ma CS, Wang GP, Han GZ, Li ZZ, Liu ST, 1999. Study on the yield loss of the cowpea harmed by *Liriomyza sativae* Blanchard and the target of its prevention and control. *Journal of Henan Agricultural University*, 33(2): 194 – 197. [尹新明, 原国辉, 马长生, 王高平, 韩桂仲, 李自朝, 刘顺通, 1999. 美洲斑潜蝇对虹豆危害的产量损失及防治指标研究. 河南农业大学学报, 33(2): 194 – 197]

Zhang CJ, 2006. The variation of chemical substance content in the injured bamboo leaves and its effects on the population parameters of *Pantana phyllostachysae*. *Entomological Journal of East China*, 15(4): 281 – 283. [张潮巨, 2006. 毛竹受害后化学物质含量的

变化及其对刚竹毒蛾种群参数的影响. 华东昆虫学报, 15(4): 281 – 283]

Zhang HJ, Duan GQ, Zhang ZB, Liang ZJ, Zhang DM, Xu Q, Wang XM, Xu AL, Liu Z, 2006. Effect of leaf mining by *Liriomyza sativa* larvae on photosynthesis of some crops. *Acta Entomologica Sinica*, 49(1): 100 – 105. [张慧杰, 段国琪, 张战备, 梁哲军, 张冬梅, 许琦, 王晓民, 许爱玲, 刘珍, 2006. 美洲斑潜蝇幼虫潜叶为害对几种作物光合作用的影响. 昆虫学报, 49(1): 100 – 105]

Zhang KH, Chen CP, Liu XP, Ge F, Wang GH, Li DM, 2002. Influences of induced resistance of pine on growth and development of the larvae of pine caterpillar. *Entomological Knowledge*, 39(4): 292 – 296. [章康华, 陈春平, 刘兴平, 戈峰, 王国红, 李典谟, 2002. 马尾松诱导抗性对马尾松毛虫幼虫生长发育的影响. 昆虫知识, 39(4): 292 – 296]

Zhang SL, 2008. The effect of the damage caused by *Besaia goddrica* (Schaus) on the content of main secondary substance and nutrition substance of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*. *Journal of Bamboo Research*, 27(2): 21 – 24. [张思禄, 2008. 竹篦舟蛾危害对毛竹次生物质及营养物质的影响. 竹子研究汇刊, 27(2): 21 – 24]

Zhang ZA, Zhang MS, Wei RH, 2004. Experimental Guide for Plant Physiology. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. [张治安, 张美善, 蔚荣海, 2004. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社]

Zhang ZL, Qu WJ, 2003. Experimental Guide for Plant Physiology. Higher Education Press, Beijing. 62 – 73. [张志良, 瞿伟菁, 2003. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社. 62 – 73]

Zhou YF, Tang JL, 2003. Lethal effect of high temperature on the leafminer fly, *Liriomyza huidobrensis* in a greenhouse. *Entomological Knowledge*, 40(4): 372 – 373. [周永丰, 唐峻岭, 2003. 高温对南美斑潜蝇的致死作用. 昆虫知识, 40(4): 372 – 373]

(责任编辑: 武晓颖)